

Elektromagnetische Verträglichkeit zur Umwelt (EMVU)

Schutzabstände von Antennenanlagen

Aus der Sicht der elektromagnetischen Verträglichkeit ist der Funkamateur dafür verantwortlich, dass seine Amateurfunksendeanlage - gleichgültig, ob selbstgebaut, gekauft oder verändert - die EMV-Schutzanforderungen erfüllt. Im Sinne des EMVG ist der Funkamateur Hersteller, zuständige und benannte Stelle (so lauten die entsprechenden Begriffe im Gesetz). Aber seine Amateurfunkstelle unterliegt nicht der Pflicht der Zulassung, wie sonst in der Telekommunikation, auch nicht der EG-Baumusterprüfung, nicht der Konformitätserklärung und nicht der CE-Kennzeichnungspflicht, die sonst für Geräte beziehungsweise Sendefunkgeräte nach dem TKG (Telekommunikationsgesetz) und dem EMVG (Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit) vorgeschrieben sind. Das entbindet den Funkamateur aber nicht von der Einhaltung der sonstigen Bestimmungen dieser Gesetze.

Eine besonders wichtige Forderung betrifft den Schutz von Personen vor unzulässig hoher elektromagnetischer Strahlung, die von der Sendeanlage ausgehen kann. Um Schädigungen durch zu hohe Feldstärken bei Menschen zu vermeiden, muss verhindert werden, dass ein Mensch so nahe an die Antennenanlage kommen kann, dass eine zu hohe Feldstärke auf seinen Körper einwirkt. Für die Feldstärkeberechnung nach der Personenschutznorm (EMVU = Elektromagnetische Verträglichkeit zur Umwelt) gelten zwei verschiedene Aufenthaltsbereiche, nämlich einmal der "Expositionsbereich 1" für vom Betreiber der Anlage kontrollierte Bereiche, z.B. das Haus des Funkamateurs und der Expositionsbereich 2, das sind die für normale Bürger jederzeit zugänglichen Bereiche mit Aufenthalt dort mehr als sechs Stunden pro Tag. Die Personenschutzgrenzwerte für diesen Bereich 2 sind im Anhang 1 zur 26. Bundesimmissionschutzverordnung festgelegt.

Engere Grenzwerte galten bis August 2013 noch für Träger von Herzschrittmachern. Obwohl der Funkamateur nach wie vor den Schutz von Herzschrittmacherträgern gewährleisten muss, sind besondere Berechnungen dazu nicht mehr erforderlich.

Die Regulierungsbehörde (Vorläufer der BNetzA) hat Rechenregeln aufgestellt, nach denen man die Grenzwerte der elektrischen Ersatzfeldstärke berechnen kann. Hierzu gibt es zunächst eine allgemein gültige Formel für den isotropen Kugelstrahler, nach der man die elektrische Feldstärke aus der Strahlungsleistung P_{str} und dem Abstand r berechnen kann:

$$E = \frac{1}{r} * \sqrt{\frac{Z_0 * P_{str}}{4\pi}}$$

Darin ist $Z_0 = 2\pi * 60\Omega = 377\Omega$ der "Wellenwiderstand" des luftleeren Raumes, d.h. das Verhältnis von elektrischer Feldstärke E [V/m] und magnetischer Feldstärke H [A/m] der abgestrahlten Welle.

Da die Abstände ausgerechnet werden sollen, die bei vorgegebener Maximalfeldstärke eingehalten werden müssen, wird die Formel zunächst nach dem Abstand r umgestellt:

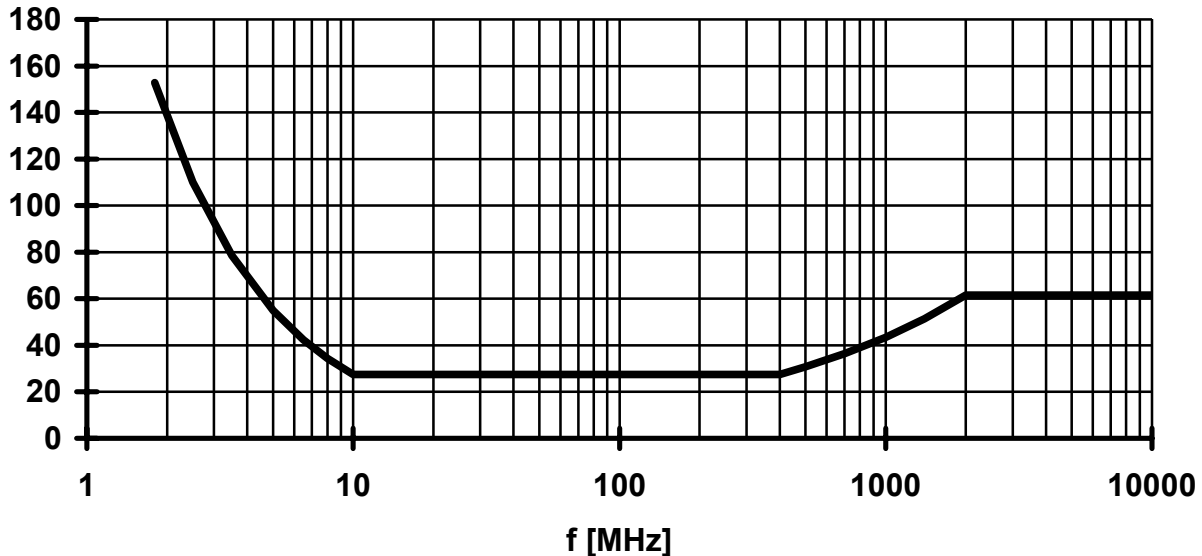
$$r = \frac{1}{E} * \sqrt{\frac{Z_0 * P_{str}}{4\pi}}$$

Als Maximalfeldstärke E hat die Regulierungsbehörde für den Expositionsbereich 2 (für normale Bürger zugänglicher Bereich) folgende Grenzwerte festgelegt:

Frequenzbereich	Elektrische Feldstärke in V/m	Magnetische Feldstärke in A/m
< 10 MHz	$E = 275 / f(\text{MHz})$	$H = 0,73 / f(\text{MHz})$
10 bis 400 MHz	$E = 27,5 \text{ V/m}$	$H = 0,073 \text{ A/m}$
400 bis 2000 MHz	$E = 1,375 * \sqrt{f(\text{MHz})}$	$H = 0,00365 * \sqrt{f(\text{MHz})}$
> 2000 MHz	$E = 61,5 \text{ V/m}$	$H = 0,16 \text{ A/m}$

Im Bereich zwischen 10 und 400 MHz ist die Wellenlänge des elektromagnetischen Feldes für Menschen am kritischsten. Dort ist die niedrigste Feldstärke (27,5 V/m) festgelegt. Ausgehend von diesem Wert, darf die Feldstärke oberhalb von 400 MHz mit der Wurzel aus der Frequenz größer werden. Und im Frequenzbereich unter 10 MHz darf sie sogar mit $1/f$ steigen.

Maximalfeldstärke im Expositionsbereich 2 in V/m



Für den Expositionsbereich 1, das ist der Bereich, in dem sich der Funkamateur selbst befindet, darf die elektrische Maximalfeldstärke etwa doppelt so hoch sein nach dem Motto: "Der Funkamateur weiß, was er tut".

Der in die Formel einzusetzende Leistungswert P_{Str} errechnet sich aus der von der PA abgegebenen Maximalleistung P , indem diese mit zwei Korrekturwerten multipliziert wird, die sich aus der Betriebsart und der Antennenform ergeben.

Grundsätzlich gelten die in der Tabelle angegebenen Maximalwerte der Feldstärken als Effektivwerte, gemittelt über 6-Minuten-Intervalle. Im Amateurfunk ist der Mittelwert der abgegebenen Leistung meist erheblich geringer als die zulässigen Spitzenwerte von 750 Watt. Bei SSB ist der Mittelwert je nach Clippgrad etwa 1:6 bis 1:4 geringer. Bei Morsetelegrafie ist durch die Pausen zwischen den einzelnen Zeichen der Mittelwert etwa 1/4 der Spitzenleistung. Nur bei Frequenzmodulation und auch bei Frequenzumtastung (FSK) ist der Mittelwert gleich der Trägerleistung und der Korrekturfaktor ist damit gleich 1. Die Tabelle zeigt die Werte des ersten Korrekturfaktors, mit dem die abgegebene Leistung P zu multiplizieren ist, um schließlich P_{Str} zu erhalten, noch einmal in übersichtlicher Form:

Betriebsart	Reduzierungsfaktor
FM, RTTY, SSTV	1
CW	1:4 = 0,25
SSB	1:6 = 0,167

Da die Formel zur Berechnung des Mindestabstandes von einem Kugelstrahler ausgeht, den es in der Praxis nicht gibt, muss auch die Antennenform bzw. das Strahlungsdiagramm berücksichtigt werden. Für die verschiedenen Antennenformen muss man also den Leistungsgewinnfaktor kennen, um die wirksame Strahlungsleistung abschätzen zu können. Für einen Dipol gilt gegenüber dem Kugelstrahler ein Gewinnfaktor von 1,64 (2,15 dB) und für einen Lambda-Viertel-Strahler (GP) ein Leistungsgewinnfaktor von $2 \cdot 1,64 = 3,28$ (5,15 dB).

Leistungsgewinnfaktor einfacher Antennen	
Dipol	1,64
Groundplane	3,28

Für Yagi-Antennen (Beam) galt früher unterhalb der Antenne ebenfalls der Gewinn eines Dipols. Man ging davon aus, dass sich die Antenne oben auf dem Haus oder auf einem hohen Mast befindet und die gefährdete Person sich unterhalb aufhält. Heute muss das Vertikaldiagramm der Antenne in die Berechnung einbezogen werden, so dass die Berechnung insgesamt exakter ist.

Beispiel:

Für den Kurzwellenbereich oberhalb 10 MHz (beispielsweise 14 MHz) soll der Mindestabstand ausgerechnet werden, der von Personen eingehalten werden muss, wenn mit einem Dipol und mit maximal zulässiger Leistung von 750 W in F3E (kritischster Fall) gearbeitet wird.

Lösung:

Für einen Dipol gilt ein Gewinnfaktor von 1,64. Ein Reduzierungsfaktor aus der Betriebsart ist nicht anzusetzen (FM). Die maximale Strahlungsleistung ergibt sich also zu $750 \text{ W} * 1,64 = 1230 \text{ W}$. Die zulässige Feldstärke beträgt 27,5 V/m (siehe Grafik auf der vorigen Seite). Die Konstante Z_0 (Feldwellenwiderstand) beträgt 377 Ohm.

$$r = \frac{1}{27,5} * \sqrt{\frac{377 * 1230}{4\pi}} = 6,99 \text{ m}$$

Es muss also ein Abstand von 7 m eingehalten werden.

Hinweis: Obwohl obige Formel nur für das Fernfeld gilt, geht man davon aus, dass man auch im Nahfeld mit dieser Formel rechnen darf, da die Fernfeldberechnung der ungünstigere Fall ist und die Berechnung mit den Formeln für das Nahfeld zu aufwendig ist. Im reaktiven Nahfeld ($r < \lambda / (2\pi)$) muss die Rechnung durch eine Messung verifiziert werden.

Für die zugelassenen Amateurfunkbänder sind für die jeweils maximal zulässigen Leistungen die Mindestabstände, die sich nach obiger Berechnung bei FM ergeben, in folgender Tabelle zusammengestellt. Wenn nur CW oder SSB gemacht wird, dürfen die Mindestabstände etwa um den Faktor zwei kleiner sein.

Band	Pmax [W]	Dipol	GP
1,815 ... 1,890 MHz	75	0,42 m	
3,500 ... 3,800 MHz	750	2,65 m	
7,000 ... 7,100 MHz	750	4,97 m	
10,100 ... 10,150 MHz	150	3,12 m	
14,000 ... 14,350 MHz	750	6,99 m	9,88 m
18,068 ... 18,168 MHz	150	3,12 m	4,42 m
21,000 ... 21,450 MHz	750	6,99 m	9,88 m
24,890 ... 24,990 MHz	150	3,12 m	4,42 m
28,000 ... 29,700 MHz	750	6,99 m	9,88 m
50,080 ... 51,000 MHz	25W(ERP)	1,28 m	1,80 m
144 ... 146 MHz	750	6,99 m	9,88 m
430 ... 440 MHz	750	6,77 m	9,57 m
1240 ... 1300 MHz	750	3,99 m	5,64 m